书写认知老化发生机制及神经机理*

刘月月[1] 何文广[2]

([1]曲阜师范大学教育学院, 曲阜 273165) ([2]曲阜师范大学心理学院, 曲阜 273165)

摘 要 书写是一种较为复杂的感知运动，涉及中央认知编码和外周动作执行两个层面的加工，需要消耗较多的认知资源，因此，很容易受到生理老化的影响。基于书写作品的研究发现，老年人的字体存在大小不一、笔画倒置、圆滑性降低、错误率提高等；基于书写过程的研究发现，老年人的书写容易出现反应变慢、停顿增多、执行延长、速度降低、持笔压力不均衡等。书写认知老化主要缘于脑与神经机制层面的神经密度或运动神经元数量的降低、感觉运动机制的衰退以及激素变化或骨质流失对手部动作的干扰等。未来研究应注重探讨不同书写过程老化的同步性与异步性、书写认知老化的普遍性与特异性，同时也应加强书写认知老化临床诊断标准的开发及应用研究。

关键词 书写，书写认知，认知老化，神经机制

口语和书写是语言产生的两种主要形式，由于研究难度和技术层面的问题，当前有关语言产生的研究主要集中在口语领域，涉及书写的研究相对不足。来自行为(Bonin et al., 2002; Bonin & Fayol, 2000)、脑电(Perret & Laganaro, 2012; Qu et al., 2016)与脑成像(Brownsett & Wise, 2010)的研究均表明，口语产生与书写产生共享高层次的认知加工（如概念提取、词汇通达等）。较之于口语产生，书写产生过程不仅包括概念准备、词条选择，还涉及拼写编码、运动编码和执行运动程序(van Galen, 1991)。其中，拼写编码属于书写的认知编码阶段，运动编码和执行运动程序属于书写的动作执行阶段，这些加工过程的顺利完成需要额外消耗更多的时间。比如，Boinn 等(1998)探索了正常人书写产生过程中各类信息激活的时间进程，并将其与口语产生的结果进行比较，结果发现，书写命名的反应时显著长于口语命名，并且在即时任务和延时任务中都出现了这种差异。这说明两者之间的差异不是由前期的概念和语义层导致的，而是源于拼写编码阶段，其原因可能在于拼写编码阶段需要提取正字法信息(Bonin, Fayol, & Gombert, 1998)。还有一些研究表明，书写产生中正字法信息的提取需要经

收稿日期：2023-12-27

*基金项目：山东省自然科学基金项目(ZR2019MC048)；山东省青年科技创新团队项目(2019RWF005)。

通信作者：何文广，E-mail: hewg@qfnu.edu.cn

由语音中介才能完成(Bonin & Fayol, 2000; Qu et al., 2011; Zhang & Damian, 2010)。另外，从开始学习口语和书写的先后顺序来看，书写产生中的运动编码和执行运动程序的学习要晚于口语产生，因而难以达到如口语产生中发音般的自动化水平。由此可见，书写产生比口语产生过程需要消耗更多的认知资源，因而更容易受生理老化的影响。

开展书写认知老化研究具有重要的理论和实践意义。从对认知老化领域的理论意义来说，一方面，从书写中枢神经系统和外周神经系统两个途径探究老化的原因、过程、神经机理等，可能是揭示认知老化发生内在机制的一个新窗口；另一方面，通过书写练习来训练老年人的某些认知功能，可能是延缓认知老化进程的一条新路径。从对书写产生领域的理论意义来说，研究老年人这一特殊群体的书写行为，可以对生理老化导致的某些功能损伤与老年人书写障碍之间的关系有更具体的因果推断，从而更容易揭示书写产生的认知机制及其神经生理基础。另外，当前无论是关注书写正字法通达机制的语音中介假说和正字法自主假说，还是关注书写中央过程与外周过程之间关系的序列模型和级联模型均主要基于非老年群体提出，那么个体书写的正字法通达机制、中央过程与外周过程之间的关系是否会随着生理老化发生变化，不同理论模型之间存在不可逾越的鸿沟，还是会随着生理老化出现某种过渡或融合，开展书写认知老化方面的研究，有助于从神经、激素、肌肉等生理层面，以及语言加工、认知控制等认知层面和动作技能等行为层面洞悉书写产生机制并回应这些问题，从而更好地丰富书写认知理论模型。从实践意义上来说，书写认知老化研究为生理老化导致的一些认知和行为障碍，如阿尔茨海默病(Alzheimer’s disease, AD)和帕金森病 (Parkinson’s disease, PD)的前期诊断和评估提供了有效手段和方法(De-Stefano et al., 2019; El-Yacoubi et al., 2019)。书写行为涉及认知、运动技能、知觉-运动协调等多种能力的整合，脑区的任何损伤对书写行为都会产生影响，这些影响可以通过字素的微观变化、运动缓慢和书写震颤等体现出来，因而，书写质量、书写运动的变化可以作为 AD 和 PD 发生的有力生物信号以及病变的诊断依据(Afonso & Álvarez, 2019; Aouraghe et al., 2023; Delazer et al., 2021; Itaguchi et al., 2019; Moetesum et al., 2019; Rios-Urrego et al., 2019)。此外，书写除了具有临床诊断功能，还具有改善认知功能、延缓认知老化的作用。最近的脑科学研究发现，书写作为一种高度复杂的运动，其加工过程可以调控多个大脑系统，是一种非常有效的刺激和训练大脑的认知活动(Araújo et al., 2022; Chen et al., 2019; Willett et al., 2021)。因此，书写练习对于脑功能的保护有重要作用，保护书写能力并坚持书写练习可以作为减缓衰老的有效途径。

1 书写认知的心理运动过程

书写是个体运用书面文字表达思想的心理过程，包括从思想代码转换成语言代码，再转换成生理和运动代码(王成等, 2012)。其中，第一种转换是从长时记忆提取正字法表征的认知编码过程，涉及意图建构、语义通达、词素表征、音韵编码、信息整合与存储等认知加工(Tseng & Cermak, 1993)。书写的认知编码主要由中枢神经系统完成，故也称为中央过程。在该过程，语义通达正字法表征时是否需要语音中介是书写认知领域的焦点问题之一，并形成了语音中介假说和正字法自主假说。语音中介假说(Phonological Mediation Hypothesis)认为，书写完全依赖于语音编码，语义先激活语音表征，再激活正字法表征(Bonin et al., 2001; Qu et al., 2011; Zhang & Damian, 2010)；正字法自主假说(Orthographic Autonomy Hypothesis)则认为，书写过程中语义可以直接激活正字法表征，不需要以语音为中介(Bonin, Fayol, & Peereman, 1998; Zhang & Wang, 2015)。早期围绕这一焦点问题的研究主要考察的是英语、法语等西方拼音文字，然而，这类文字的正字法系统因存在较强的形-音对应规则而不能完全分离其正字法和语音效应，可能会对其研究结论的可靠性产生影响。利用汉语正字法和语音能够纯净分离的优势，研究者采用图-词干扰范式、Stroop 范式、掩蔽启动范式等对语音在汉字书写正字法通达中的作用进行了一系列行为与脑电研究，并分别为汉字书写的语音中介假说(Damian & Qu, 2013; Qu et al., 2011; Qu & Damian, 2020; Qu et al., 2015)和正字法自主假说(Zhang & Wang, 2015; Zhang & Wang, 2016)提供了相应证据。

第二种转换是将正字法表征转换为一系列运动指令并加以执行的动作执行过程，涉及捕获视觉、运动知觉、运动计划、眼手协调、视觉-运动整合、手部运动技能等动作加工(Tseng et al., 1993)。书写的动作执行主要由周围神经系统完成，故也称为外周过程。研究发现，对于不同的书写方式(手写或打字)，其中央过程是共享的，而外周过程则涉及不同的加工机制(Cerni & Job, 2022)。在过去的几十年里，研究者围绕中央过程和外周过程之间的关系遵循模块化序列还是交互平行展开了激烈论争，并形成了序列模型和级联模型两种假说(Bonin et al., 2015; Cerni & Job, 2022; Lambert & Quémart, 2019; van Galen, 1991)。序列模型(the Serial Model)认为，中央过程与外周过程的加工彼此独立并严格按照串行顺序进行，前者加工完全结束后才开始执行后者(Baus et al., 2013; Ellis, 1988)；级联模型(the Cascaded Model)则认为，两个过程相互作用且可以平行运作，一方的认知需求会影响另一方的加工效率(van Galen, 1991; Cerni & Job, 2022)。早期以正常人和神经损伤患者为被试的研究均发现了中央和外周过程之间的区别，支持序列模型(Ellis, 1979; Purcell et al., 2011)。然而，越来越多的证据发现，手写方式下的词性(Roux et al., 2013)、词频(Afonso et al., 2018)、形-音映射的不规则性(Planton et al., 2019)、汉字词性和偏旁的复杂性(Zhang & Feng, 2017)以及打字方式下的词频(Scaltritti

et al., 2016)、词长(Cerni & Job, 2022)、语义透明度(Sahel et al., 2008)、形-音映射的不规则性(Rønneberg & Torrance, 2019)、双字母频率(Pinet et al., 2016)等中央过程的认知因素也显著影响到外周过程的笔画产出，而且这些因素多是并列激活、协同作用于书写过程。这表明书写的中央和外周过程相互影响，从而为级联模型提供了坚实有力的证据。

有关正常人书写脑机制研究发现，虽然负责认知编码的中央过程和负责执行书写动作的外周过程在生理基础上有交错重叠，但也有研究表明二者在脑区激活上的确也存在分离(Katanoda et al., 2001; Rapp & Dufor, 2011; Roux et al., 2009; Segal & Petrides, 2012; Sugihara et al., 2006)。来自书写中央过程的 fMRI 研究表明，左侧颞下回后部(left posterior inferior temporal cortex, left PITC)及邻近的梭状回(fusiform gyrus, FFG)、前额叶上区主要负责正字法表征的选择、保持和提取(Beeson et al., 2003; Nakamura et al., 2000; Rapp & Dufor, 2011)，而 Broca 区、缘上回(supramarginal gyrus, SMG)可能与语音-正字法转换有关(Nakamura et al., 2000; Roeltgen & Heilman, 1984; Sugihara et al., 2006)。来自书写外周过程的 fMRI 研究表明，位于额上沟和中央前回交界处的 Exner 区、左顶叶(left parietal)、背侧运动前皮层(dorsal premotor cortices)、右小脑、辅助运动区(supplementary motor area, SMA)以及对应于手指运动的初级运动皮层共同构成了一个负责书写动作执行的网络(Menon & Desmond, 2001; Beeson et al., 2003)。还有研究认为，上顶叶皮层(superior parietal cortex, SPL)和 Exner 区不仅参与中央过程正字法的选择与表征，更重要的是，它们在外周过程的运动区域和中央过程的认知区域之间起着高级接口的作用(Planton, 2013)。上述结论主要基于西方拼音文字的研究，对汉字书写脑机制的研究发现，左侧角回(left angular gyrus)、左额中/下回(left middle/inferior frontal gyrus)可能分别负责汉字书写中央过程的概念加工和语音加工，左侧缘上回(left supramarginal gyrus)负责从拼音到相应正字法字形的转换，右顶叶上/下小叶(right superior/inferior parietal lobule)可能与汉字书写所需的复杂正字法加工有关。另外，双侧前额叶区域(bilateral prefrontal areas)负责将抽象的汉字正字法表征转换为外周过程的运动指令，左额上回(left superior frontal gyrus)和左顶叶上小叶(left superior parietal lobule)可能与汉字书写产生正确动作序列和所需的正字法缓冲有关，右侧壳核/丘脑(right putamen/ thalamus)负责书写方形汉字所需的额外运动控制(Ge & Gao, 2023; He et al., 2022)。也就是说，除了涉及与拼音文字共同的左额叶和顶叶皮层的脑激活以外，汉字书写中央过程的正字法加工和外周过程的动作执行还与右额叶和顶叶皮层以及右壳核/丘脑的激活有关。这些结果表明，汉字书写不仅需要左半球的大脑参与，还需要右半球的大脑参与(Yang et al., 2019; Cao & Perfetti, 2016; Lin et al., 2007)，换句话说，汉字书写需要激活双侧皮层区和右侧壳核/丘脑，这些右

半球的脑激活反映了汉字的方形结构所涉及的视觉空间处理比拼音文字更复杂(He et al., 2022)。

综上所述，书写是一项需要身、心协同参与且耗能较高的精细而复杂的感知运动，其中，中央和外周过程之间的有效协调是产生高质量文本的核心，也是书写技能的基本组成部分。个体的书写表现及其对书写过程之间的协调取决于中央和外周过程对工作记忆的需求(McCutchen, 2000)。因此，工作记忆，特别是工作记忆的执行功能，协调着书写过程之间的关系，执行能力强的个体可以更好地协调不同层级之间的信息加工(Olive, 2014)。为了避免工作记忆容量超载，个体必须通过提高书写动作的自动化来保证激活两种过程的总认知需求不会超过工作记忆的有限容量(Fayol, 1999)。这对于生理和认知都处于退化阶段的老年人来说具有较大挑战性。

书写作为一种需要感知-运动系统参与的语言认知活动，其老化同时受到生理老化与认知老化的共同影响。书写的顺利完成既需要神经系统的支持，也离不开运动系统的参与。因此，书写的生理老化不仅涉及脑的结构与功能等神经系统方面的老化，也包含骨骼、肌肉等运动系统方面的老化(Lemoine, 2020)。一方面，神经系统方面的老化会导致脑内神经元的活性降低，神经元、神经突触的数量减少和体积萎缩，大脑灰质、白质的密度及体积衰退，脑区内的连接强度减弱以及脑区间的连接增强，这些老化可能主要影响书写的中央过程，使得语言信号的传递速度减慢，传递准确性降低。另一方面，运动系统方面的老化会导致骨质疏松及骨骼的退行性改变，关节的弹性、韧性、灵活性降低，肌肉萎缩且体积变小，这些老化可能主要影响书写的外周过程，使得书写动作的协调性降低、运动的速度减慢以及运动的力度减小。书写的认知老化主要指书写过程中个体对语言信息的感知速度减慢、工作记忆下降、抑制能力减弱、现场依赖性增强等语言认知能力的衰退(Fabiani, 2012)。书写的认知老化可能主要影响概念提取、词汇通达、正字法表征，音-形转换等中央过程，使得语言信息的编码、存储与提取受到影响，从而降低了认知编码阶段信息加工的速度、精细性与准确性(Shafto & Tyler, 2014)。

由上可见，书写的生理老化与认知老化之间既存在共性，也表现出独特性。两者之间存在共性主要源于大脑是个体认知活动的生理基础，书写的认知老化是大脑等中枢神经系统方面的生理老化在认知上的体现。因此，从神经系统层面的老化来看，生理老化与认知老化对书写产生过程的影响存在重叠，二者可能主要影响书写的中央过程。生理老化表现出的独特性在于，除了神经系统方面的老化，生理老化还涉及骨骼、肌肉等运动系统方面的老化，这种老化可能主要影响到书写的外周过程，如手部的握力、持笔、书写动作的协调性、视觉-

空间一致性等。由于神经系统在生理老化和认知老化之间的重叠使得书写中的部分过程既有生理老化的影响，又有认知老化的影响，很难完全区分开来，为了使表述简洁一致且易于理解，我们将两种老化统称为生理老化。

2 生理老化对书写认知的影响

如上所述，作为人类特有的一种精细的认知运动，书写不仅需要较高的认知负荷，更需要大脑调节下多功能的协调，尤其是运动技能与视觉技能的协调整合，书写运动才有可能顺利完成。大量研究证实，书写的动作技能会影响更高水平的认知加工，这种自下而上的干扰来自并行的中央和外周过程对有限的工作记忆容量的同时要求，只有当书写的动作执行释放足够的工作记忆容量以允许并行加工高水平的认知编码时，才能实现中央和外周过程的并行激活(Olive & Kellogg, 2002)。然而，生理老化不仅导致老年人的肌肉力量减弱，也影响到多感官系统间的协调性，同时也使得老年人的语言认知能力发生衰退，所有这些必然影响到老年人的书写认知，使其不能清晰地书写和以正常的速度书写，从而导致书写作品易读性和书写过程流畅性的降低。早期由于研究技术的局限，有关书写认知老化的研究更多聚焦于静态的书写作品易读性指标的分析，20 世纪 80 年代后，随着书写电子板等书写工具的使用，研究者们开始从动态的角度研究老化对书写过程流畅性指标的影响。

2.1 生理老化对书写作品的影响

书写作品的易读性主要通过字母的形状、大小、对齐和间距等指标来衡量。Yoon 等(2014)分析了 235 名 57~79 岁老年人的书写材料，这些材料为音素和字素一一对应的包含四个音节(four-syllablic word)的单词，发现老年人每个字书写的大小不均。Walton (1997)的研究也发现，较之于年轻人，老年人书写字体变大。Contreras-Vidal 等(1998)选取 12 位 63~78 岁老年被试和 8 位 19~31 岁年轻被试，比较两组被试在书写任务中的表现。结果发现，在书写运动中，老年人经常表现出无规则的前后笔画倒置的运动模式，而且写出来的字母或单词大小不一、笔画长短不同。究其主要原因，研究者认为这是生理老化导致老年人的肌肉控制能力和感觉-运动协调性下降，尤其是手指和手腕空间一致性的退化，从而影响到书写运动的一致性和平衡性。当然，视觉功能、视觉反馈和视觉运动系统整合功能的衰退也是影响书写作业表现的重要原因。另外，年轻被试的书写表现为笔画直，运笔平滑且速度快，老年人的运笔缓慢、抖动和停滞现象较多，而且笔画跳跃幅度较大。研究者认为，书写中老年人笔画跳跃幅度大的原因在于老化引起运动神经元的重新组织，从而使得老年人对精细运动的控制力降低。书写运动中，既定词汇的书写需要选择图式化运动程序，运动控制系统按照一定

序列产出相应的字母。书写中为了产出大小较为一致的字母，运动控制系统中需要包含控制相同动力和重力的运动系统。受生理老化的影响，这种运动系统工作的稳定性和持久性表现不足，导致老年人在书写运动中出现较多的浮动，从而影响到书写的平滑运动。此外，在笔画圆滑性方面，老年被试的书写中呈现出更多尖状和角形笔画，同样是因为老年人失去肌肉精细控制能力所导致。还有研究发现，老年被试的书写中经常犯一些错误，如字母大小写或相似字母替换，而且修改错误的意识不如年轻被试，这主要源于老年人的注意资源欠缺、自我监控能力不足(Dixon et al., 1993)。

当前，多数研究认为老年人书写运动的不规则性是由精细运动控制能力的降低所导致，那么促使老年人精细控制能力下降的原因又是什么呢？来自神经生理学的研究表明，生理老化将导致白质密度的降低，影响到皮层-皮层、皮层-亚皮层、皮质脊髓间链接模式的退化。白质的退化不仅影响到简单运动，还可能影响到精细运动(Shimoyama et al., 1990; Smith et al., 1999)。同时，老化还会导致神经元的重组，使得老年人在视觉和运动系统整合方面存在问题(Degardin et al., 2011)。

2.2 生理老化对书写过程的影响

书写反应时是考察书写认知编码阶段的一个重要指标，一般指从刺激呈现到开始落笔之间的时间。研究发现，老年人的书写反应时(999 ms)显著长于年轻人(794 ms)，除了与老年人一般认知能力的衰退有关(Schaie, 2000)外，老年人的书写反应变慢还与正字法编码和语音编码过程的联结变弱有关(王成, 2015)。此外，何洁莹和张清芳(2017)的 ERP 研究发现，老年人的书写反应时会受到词汇频率和音节频率的影响：在书写的早期阶段，词汇频率效应早于音节频率效应，支持正字法自主假设；在书写的晚期阶段，语音信息得到激活并影响了正字法编码过程。在该研究中，图片呈现后 200 ms 时，老年人的词汇频率效应和音节频率效应是独立的，两者的交互作用在图片呈现后 300 ms 时才开始出现，表明老年人语义激活正字法词典和语音词典的速度与年轻人相当，但是正字法和语音之间信息的相互传递晚于年轻人(王成, 2015)，这为老年人“正字法加工水平和语音加工水平之间的联结减弱”观点提供了支持证据(Burke et al., 1991)。

书写速度是考察书写动作执行阶段的一个重要指标，通常以每分钟写的平均字母数或在特定时间内产生的文本量来衡量。研究表明，书写速度也很容易受生理老化的影响。Thorndike 等(1928)研究发现，较之于年轻被试，老年人的书写速度显著降低，但却可以通过训练得到提升。为验证该发现，LaRiviere 和 Simonson (1965)从管理、文秘和商业三个职业领域选取部分 40~69 岁年龄组的被试，结果发现，在数字抄写任务上，管理和商业两个职

业领域的被试表现出显著的年龄差异，年龄较大的被试抄写速度较慢，而从事文秘职业的被试却没有表现出年龄差异，研究者认为这是因为该职业领域的被试每天都有着大量的书写活动。此外，书写速度老化还受到任务熟悉度的影响(Smith & Green, 1962)。Dixon 等(1993)采用多种书写任务比较了年轻人和老年人(60~79 岁)的书写表现，发现年轻人书写速度显著快于老年人，且书写表现会受到书写材料熟悉度的调节，在不熟悉材料上，年龄差异更为显著。

随着书写认知研究方法和工具的更新，书写认知研究的视角也日益丰富。Walton (1997)发现，年轻人书写中落笔较重，起笔或收笔相对轻缓，说明书写运动中年轻人对书写工具有较好的把持能力。老年人在持笔压力上则表现出不均衡的特点，时重时轻。研究还发现，书写停顿或笔尖滞留现象随老化而逐渐增加，57 岁年龄组的平均值为 2.7，63 岁组为 3.2，69 岁组为 4.8，75 岁为 6.0。该现象可能是由于生理老化使得老年人肌肉韧性、工作能力持久性下降，难以长时间维持手指或腕部的平滑运动。当然，也有可能是老年人认知或注意控制资源不足所导致，难以及时有效提取需要书写的即临目标刺激。Engle (2002)认为，书写需要足够的注意控制能力来维持信息的激活状态，以便被快速提取。Rosenblum 等(2013)也认为，书写与执行控制功能(executive function, EF)关系密切，书写决策、控制意图、时间和空间组织、监控和修改等均需要 EF 成分的参与。相关研究也表明，工作记忆的得分可以显著解释因年龄老化而导致的书写变异(Meltzer, 2018)。

Rosenblum 和 Werner (2006)采用计算机书写系统考察了 60~94 岁年龄段老年被试的书写过程，并从书写执行时间、停顿及空中悬置时间、持笔压力等多个维度进行分析。结果发现，老年人在各种手部任务中的作业时间都长于年轻人，且作业效率较低。在书写任务条件下，老年人的书写准备时间、执行时间及书写速度都随年龄增长而增加，且持笔压力较低。进一步分析显示，高教育水平老年被试的书写持笔压力较高，据此，研究者认为教育水平对老年人手部功能的维持有重要影响。其背后的原因可能是高教育水平被试因较长时间的书写学习和从事较多的书写活动而导致手、腕等负责书写的系统受到较多的训练，从而延缓了手部功能的退化。

也有学者从认知功能及视觉-运动系统间的协调性角度解释生理老化对书写的影响。Deepani 等(2018)研究指出，较之于年轻被试，老年被试书写速度慢、笔压不一致、书写停顿时间增加、起始和结束笔画位置的不一致、字母间或单词间空间的规则性降低、字母或单词结构质量退化、书写错误增多等现象的发生，更多是由于书写赖以依存的视觉反馈系统的老化。由于缺乏准确、及时的视觉反馈信息，老年人往往做出较多的无效知觉运动。Uysal 和 Aki (2012)研究也发现，视觉-运动系统整合与书写速度和书写质量高度相关，低视觉-运

动整合的学生书写较慢且质量较差。

近来，有学者考察了生理老化对打字书写的影响。采用电脑打字任务，Kalman 等(2015)从打字数量、错误率、使用时间、错误修订等方面比较了年轻被试(19 名，平均年龄 26.16 岁）和老年被试(19 名，平均年龄 72.11 岁)的表现差异。结果显示，在复杂任务上，年轻人打字数量比老年人多，但两组被试间的差异并未达到显著水平，主要原因可能在于被试样本量太小。较之于年轻人，老年人需要花费更多的时间完成任务。老年人虽然有较多的时间校正打字中的错误，但由于他们不能有效使用这些时间，导致他们最后完成的文本中存在更多的错误，而且在打字过程中他们也很少去更正这些错误。当研究者将被试花费在书写上的时间与打字任务中暂停、计划或编辑等占用的时间进行比较时发现，老年人真正用在打字上的时间约为总时间的 70%，而年轻人约为 50%。如果按照实际敲键的时间计算打字速度的话，年轻人的书写速度要显著快于老年被试。此外, 对年轻被试来说，文本编辑的深刻程度因文本难度不同而存在显著差异，相关分析进一步显示，年轻被试花费在文本编辑上的时间与完成书写总任务的时间呈显著正相关，而老年被试没有出现这种现象。当然，我们必须谨慎对待基于打字任务获得的书写认知老化现象，因为与老年人相比，年轻人更习惯于使用计算机或其他电子设备，他们在这方面有着更多的使用经验。

3 书写认知老化机制分析

由于书写认知是基于感知觉、认知、运动技能、眼-手协调、自我监控、注意分配等多功能成分协同作用的结果，因此导致书写认知老化的发生机制非常复杂。汇总来看，当前有关书写随年龄老化的解释主要有三种观点。

（1）聚焦于脑和神经生理机制，如神经密度或运动神经元数量的降低。书写行为是人类特有的一项复杂的认知活动，涉及多种认知成分的整合与协调，因此，大脑的细微变化都将对书写产生影响。随着生理年龄老化，大脑灰质体积呈现不断下降趋势。研究发现，当个体处于 30~50 岁时，全脑的萎缩率每年约为 0.2%，70~80 岁时，则上升为 0.5%左右，且几乎所有的大脑皮层都能发现显著的萎缩趋势(张占军, 2018)。额叶是受年龄老化影响最大的脑区，其次是颞叶和内侧顶叶区域（楔前叶及相邻的后扣带皮层）。这些脑区都与书写认知有着密切关联，如楔页和中央前回脑区负责书写中词汇加工，左半球顶上小叶和前运动皮层负责书写执行，额叶则负责书写计划与监控(张清芳, 2019)。此外，脑白质的老化同样影响老年人的认知能力，特别是执行功能、加工速度和注意调控等。额叶、顶叶和颞叶区域的白质完整性与年龄密切相关，受生理老化影响较大。并且，年龄不仅影响白质纤维束的完整性，

也会影响白质网络属性和链接强度的变化。因年龄老化导致脑白质网络链接效率的降低会显著影响到老年人的加工速度、视-空间协调能力和执行功能，而这些都是书写认知必备的认知能力。另外，生理老化还将导致运动神经元数量的减少和功能的衰退(Messa et al., 2020)，从而影响手臂、手腕、手指等书写部位肌肉的力量，同样对书写产生有着重要影响。感觉神经末梢数量的减少和感官信息传导阈限的升高，最终导致感觉能力的下降。

（2）聚焦于感觉运动机制，如需要更多的时间处理即临的感觉信息，或因老化导致触觉、运动觉信息的损伤。书写运动离不开视觉-运动系统功能的协调及来自手部感知觉、触觉或运动觉信息的加工，而生理的老化往往伴随着感知觉和运动觉信息加工的困难。运动觉信息的加工困难可能影响到书写活动的流畅性，书写字体的大小及空间布局、持笔压力、书写动作的稳定性等(Sakurai, 2021)。为探究感觉信息加工与书写运动间的关系，Engel-Yeger等(2012)选取无阅读和运动障碍、认知正常、无心理问题的被试 118 名，划分为四个被试组：31~45 岁组、46~60 岁组、61~75 岁组、76 岁以上组。被试完成书写任务的过程中，接受感觉方面的评估。结果发现，较之于年轻被试，老年被试书写速度较慢、持笔压力减轻、书写字体较大且不规则，表现出较为明显的书写老化问题。感觉加工能力、年龄和书写表现间的相关分析表明，感觉加工能力与书写表现呈显著相关，而且二者的关系受到年龄的调节。回归分析表明，年龄可以显著预测感觉加工能力。该结果说明，因生理老化而带来的感觉器官及脑功能退化是导致加工感觉信息能力退化的重要原因。Pohl 等(2003)在有关感觉信息加工的调查研究中也发现，65 岁以上老年人能有效把握的刺激信息量比年轻人要少，他们为了有效识别刺激需要高强度的感觉输入，因为诸如视觉、听觉、触觉等感觉系统特别容易发生老化。触觉的衰退也许与皮肤生理老化、皮肤内感觉接收器密度的降低、皮肤传入轴突数量和皮肤水合物的发展性损失有关。这些生理变化将显著影响感觉功能及其表现，例如导致触觉阈限增加、空间敏度降低、纹理知觉扭曲等。感觉信息加工能力及其功能的衰退必然延缓运动技能，尤其是书写等一些精细肌肉的运动。正如 Burton (1989)所指出，随着生理老化，老年人的知觉运动技能在反应时上表现出一定程度的延缓效应，从而需要较多的时间加工即临信息。

（3）聚焦于其他影响手部动作表现或力量的生理过程，如激素变化或骨质流失等。手是书写产生的主要器官，大笔画的书写多依赖于肩膀和肘结合部的动作，字体内部的运动则多涉及手腕、手和手指的结合处。因此，健康的手部功能是书写运动的前提和保障。但是，随着年龄增长，手部功能也不可避免地发生老化。如手部肌肉力量和运动能力会随着激素水平的高低而改变，同样兴奋-收缩耦合机制的改变或肌细胞收缩成分的改变也会影响手部功

能。手部功能的有效发挥需要良好的手-眼协调能力、本体感觉反馈能力、感知觉能力、手部握力以及独立控制手部内、外部肌肉的能力。手-眼协调性依赖于神经系统的完整性，而神经系统的完整性又容易受到生理老化的影响。Pickles 等(1995)认为，生理老化所导致的神经递质功能的衰退、神经元数量的减少和突触链接效率的降低是老年人运动协调性丧失的主要原因。手部握力是影响书写运动的另一重要因素，该功能同样因老化而发生衰退。Hyatt 等(1990)研究发现，老年被试的手部握力显著低于年轻被试。Bovell 等(1996)也发现，因增龄而导致的身体活动能力的降低会进一步影响到骨骼肌的力量。Lepelley 等(2010)进一步指出，肌肉力量随年龄老化而衰退，致使老年人有效控制手部多个效应器间的协同作用的能力下降，进而影响到书写运动。Morgan 等(1994)研究指出老化对手臂外展和内收运动有显著影响，老年人表现出更多的不对称性及较低的运动速率。在书写运动方面，老年人产生更多慢而无效的动作，年轻人的书写则表现出较高的自动化。

上述三种观点均从生理老化方面阐释了书写认知老化发生的内在机制，但涉及不同的层面。其中，第一种观点聚焦于脑和神经生理机制，主要从中枢神经系统层面的生理老化分析大脑认知变化对书写中央过程的影响；第二种观点聚焦于感觉运动机制，侧重从感知运动系统层面的生理老化分析感知觉和运动觉的衰退对书写外周过程的影响；第三种观点聚焦于激素变化或骨质流失等影响手部动作表现或力量的生理过程，主要分析了生物化学递质层面的生理老化对书写外周过程的影响。

4 结语及展望

世界即将步入老龄化社会，联合国发布的《2023 年世界社会报告》中指出，2021 年，全球 65 岁及以上人口为 7.61 亿，到 2050 年将增加到 16 亿。为了更好地应对老龄化社会的冲击，让老年人得到更好的护理和关爱，切实提升他们的生活质量，有效评估和了解老化给认知和行为功能带来的影响是必须的。书写行为作为一种需要较高认知资源和运动技能的活动，需要中枢神经系统和周围神经系统的有效协同，因此，老化伴随的神经系统或肌肉运动的病理性损伤必将影响到书写行为的表现。虽然在过去的几十年里，研究者对书写认知老化现象及其发生机制有了较多的认识和了解，但依然有许多问题亟待解决和突破。

首先，书写认知老化的速度在中央和外周过程上具有同步性吗？换句话说，书写中央过程的正字法通达机制、中央过程与外周过程之间的关系是否同时受老化影响，还是表现出阶段老化的独立性？关于书写中央过程的正字法通达机制，由于语音的表征和通达主要靠左侧颞下回后部和额下回前部，因而语音随生理老化衰退较早(何文广, 2017)，这是否会破坏正

字法通达机制中的语音中介通路呢？关注书写错误率的笔尖效应研究发现，无论是听觉呈现词汇(MacKay & Abrams,1998)，还是视觉呈现词汇(MacKay et al., 1999)，与年轻人相比，老年人均表现出更多的拼写错误，即存在更多的提笔忘字现象。这可能源于老年人的正字法表征和语音表征之间的联结更弱(Burke et al., 1991)，导致其正字法表征的通达随着年龄增加而降低。未来研究可以采用图-词干扰、命名启动等范式从反应时指标上进一步验证书写的正字法通达是否同样存在老化现象，同时从书写持续时间、笔画间隔时间、书写速度等指标上考察中央过程的语言信息加工对外周动作执行的影响是否受老化调节。

其次，书写认知老化具有普遍性与特异性吗？一方面，从语言类型角度来看，当前有关书写认知老化的研究主要集中在西方拼音文字，有关汉字书写认知老化的研究相对不足。拼音文字是一种由平面字母组合构成的线性字符序列，而汉字是一种由若干笔画、偏旁组成的全方位立体化的方块结构，这种结构产生了高度的视觉复杂性。此外，汉字还包含大量的同音异义字，因此其正字法、语音和语义系统之间的关系也更复杂。汉字的这些特征使其书写的正字法通达和精细运动加工对工作记忆的需求势必比拼音文字更高，从而可能更容易受到老化的影响。因此，开展汉字书写认知老化研究，探究汉字书写过程中表现出的年老化特征与模式非常有必要。首先，汉字不同语言信息之间的老化存在何种差异？汉字繁杂多样，以年轻人为被试的研究表明，汉字书写的正字法通达除了可能受语音的影响外，还会受到偏旁位置、结构、笔画、词频、音节频率、拼写规则性、语境词熟悉度、习得年龄等多种因素的影响，从而导致笔尖效应的出现(Huang et al., 2021; Wang et al., 2023)。未来研究可以老年人为被试，考察汉字的这些语言信息在老年人书写正字法通达中的作用机制有何差异，在关注老年人汉字书写笔尖效应的同时，也关注这些语言信息在动作执行阶段所表现出的年老化特征，从而加强对老年人汉字书写完整过程的理解。其次，汉字书写认知老化的年龄趋势是怎样的？未来研究可以基于大样本、多年龄阶段被试，通过纵向分析的方法，系统考察汉字书写认知老化的发生年龄及其发展趋势。再次，未来还应加强跨语言书写认知老化比较研究，通过与英语、法语等西方拼音文字比较，考察汉语书写认知老化的共性和差异性。最后，基于对上述问题的理论分析和实证研究，构建汉语书写认知老化理论模型，为后续汉语书写认知老化的评估、预测和干预提供理论支持。另一方面，从书写与其他语言认知活动（如口语、阅读）或非特异性活动（如绘画）的关系角度来看，书写除了有其特有的脑区（左侧额上沟/额中回区、左侧顶叶内沟/顶叶上区、右侧小脑等三个区域）之外，还有与口语、阅读等其他语言认知活动共有的脑区（腹侧运动前皮质、后颞/下颞皮质等），以及与绘画等非特异性运动共有的脑区（初级运动和感觉运动皮质、辅助运动区、丘脑和壳核等）(Planton et al.,

2013)。那么，书写特有脑区的老化是否会表现出老化特异性，而书写与其他语言认知活动、非特异性运动共有脑区的老化是否会表现出普遍性？未来研究可以老年人与年轻人为被试，采用“语言输入控制”（即以口语、阅读等语言任务为控制任务，将其与书写任务进行比较）或“运动输出控制”（即以绘画等非语言运动任务为控制任务，将其与书写任务进行对比）来探究两类人群在书写产生与其他活动之间的共有成分及其特有成分，以此来直接考察书写产生认知老化的普遍性与特异性。

最后，未来应加强书写认知老化临床诊断标准的开发及应用研究。近年来，书写行为在线和离线的动力学分析成为诊断和评估 AD\PD 症状的新视角(De-Stefano et al., 2019)。比如，Afonso 和Álvarez (2019)首次报道了健康老年人、轻度痴呆症患者和 AD 患者在书写时的中央和外周加工机制。研究发现，与健康老年人相比，轻度痴呆症患者的书写能力受到影响。AD 患者的书写困难出现在中央和外周水平，而轻度痴呆症患者的书写困难只出现在中央水平。然而，患者在反应时和字母间持续时间方面表现出与对照组相似的一致性效应，这表明痴呆患者的中央过程和外周过程之间的加工仍然相互作用。因此，书写外周过程的恶化可能是 AD 进展的一个指标。为了基于书写特征建构能有效区分 AD 患者和健康老年人的诊断标准，Rios-Urrego 等(2019)使用基于动力、几何、非线性等特征分析了 AD 患者与健康老年人的书写行为，发现书写速度、加速度、持笔压力最具有区分性。Moetesum 等(2019)使用卷积神经网络从对照组和PD 患者组产生的各种书写运动样本的多个表征中提取判别性视觉特征，使用早期和晚期融合技术对 72 个被试的数据集进行了评估，结果发现，仅使用书写样本表征中的视觉信息就实现了 PD 预测 83%的总体准确性。上述研究结果表明，书写行为分析将成为一种有力的、非侵入式的、耗费低且高效的 AD/PD 诊断和评估方式。

参考文献

何洁莹, 张清芳. (2017). 老年人书写产生中词汇频率和音节频率效应的时间进程: ERP 研究. *心理学报, 49*(12), 1483–1493.

何文广. (2017). 语言认知老化机制及其神经基础. *心理科学进展, 25*(9), 1479–1491.

王成, 尤文平, 张清芳. (2012). 书写产生过程的认知机制. *心理科学进展, 20*(10), 1560–1572.

王成. (2015). *汉语书写产生中正字法信息提取的认知机制*(博士学位论文). 中国科学院大学, 北京.

张清芳. (2019). *语言产生: 心理语言学的视角.* 华东师范大学出版社.

张占军. (2018). *中国老年脑健康报告.* 人民卫生出版社.

Afonso, O., & Álvarez, C. J. (2019). Measuring writing durations in handwriting research: what do they tell us about the spelling process?. *In Spelling and writing words* (pp. 151–162). Brill.

Afonso, O., Suárez-Coalla, P., González-Martín, N., & Cuetos, F. (2018). The impact of word frequency on peripheral processes during handwriting: A matter of age. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology,*

71(3), 695–703.

Aouraghe, I., Khaissidi, G., & Mrabti, M. (2023). A literature review of online handwriting analysis to detect Parkinsion's disease at an early stage. *Multimedia Tools and Applications, 82*(8), 11923–11948.

Araújo, S., Domingues, M., & Fernandes, T. (2022). From hand to eye: a meta-analysis of the benefit from handwriting training in visual graph recognition. *Educational Psychology Review, 34*(3), 1577–1612.

Baus, C., Strijkers, K., & Costa, A. (2013). When does word frequency influence written production? *Frontiers in Psychology, 4,* 963.

Beeson, P., Rapcsak, S., Plante, E., Chargualaf, J., Chung, A., Johnson, S., et al. (2003). The neural substrates of writing: A functional magnetic resonance imaging study. *Aphasiology, 17*(6), 647–665.

Bonin, P., Chalard, M., Méot, A., & Fayol, M. (2002). The determinants of spoken and written picture naming latencies. *British Journal of Psychology, 93*(1), 89–114.

Bonin, P., & Fayol, M. (2000). Writing words from pictures: What representations are activated, and when?. *Memory & Cognition, 28*, 677–689.

Bonin, P., Fayol, M., & Gombert, P. (1998). An experimental study of lexical access in the writing and naming of isolated words. *International Journal of Psychology, 33*(4), 269–286.

Bonin, P., Fayol, M., & Peereman, R. (1998). Masked form priming in writing words from pictures: Evidence for direct retrieval of orthographic codes. *Acta Psychologica, 99*(3), 311–328.

Bonin, P., Méot, A., Lagarrigue, A., & Roux, S. (2015). Written object naming, spelling to dictation, and immediate copying: Different tasks, different pathways?. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 68*(7), 1268–1294.

Bonin, P., Peereman, R., & Fayol, M. (2001). Do phonological codes constrain the selection of orthographic codes in written picture naming?. *Journal of memory and language, 45*(4), 688–720.

Bovell, D. L., Nimmo, M. A., & Wood, L. (1996). Principles of physiology: A scientific basis of physiotherapy. WB Saunders.

Brownsett, S. L., & Wise, R. J. (2010). The contribution of the parietal lobes to speaking and writing. *Cerebral Cortex, 20*(3), 517–523.

Burke, D. M., MacKay, D. G., Worthley, J. S., & Wade, E. (1991). On the tip of the tongue: What causes word finding failures in young and older adults? *Journal of Memory and Language, 30*(5), 542–579.

Burke, D. M., & Shafto, M. A. (2008). Language and aging. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (3rd ed., pp. 373–443). Psychology Press.

Burton, J. E. (1989). The model of human occupation and occupational therapy practice with elderly patients part 1: Characteristics of ageing. *British Journal of Occupational Therapy, 52*(6), 215–218.

Cao, F., & Perfetti, C. A. (2016). Neural signatures of the reading–writing connection: Greater involvement of writing in Chinese reading than English reading. *PLoS One, 11*, e0168414.

Cerni, T., & Job, R. (2022). The interaction of central and peripheral processes in typing and handwriting: A direct comparison. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 48*(6), 563.

Chen, W., He, Y., Chen, C., Zhu, M., Bi, S., Liu, J., ... & Wang, W. (2019). Long-term Chinese calligraphic handwriting training has a positive effect on brain network efficiency. *PloS ONE, 14*(1), e0210962.

Contreras-Vidal, J. L., Teulings, H., & Stelmach, G. (1998). Elderly subjects are impaired in spatial coordination in fine motor control. *Acta psychologica, 100*(1–2), 25–35.

Damian, M. F., & Qu, Q. (2013). Is handwriting constrained by phonology? Evidence from Stroop tasks with written responses and Chinese characters. *Frontiers in psychology, 4*, 765.

Degardin, A., Devos, D., Cassim, F., Bourriez, J. L., Defebvre, L., Derambure, P., & Devanne, H. (2011). Deficit of sensorimotor integration in normal aging. *Neuroscience letters, 498*(3), 208–212.

Deepani, V., Kapoor. A. K., & Saini, M. (2018). Age related variation in feminine handwriting among population groups of Delhi. *India. Journal of Forensic Science & Criminology, 6*(1),1–6.

Delazer, M., Zamarian, L., & Djamshidian, A. (2021). Handwriting in Alzheimer’s Disease. *Journal of Alzheimer's Disease, 82*(2),727–735.

De-Stefano, C., Fontanella, F., Impedovo, D., Pirlo, G., & di Freca, A. S. (2019). Handwriting analysis to support neurodegenerative diseases diagnosis: A review. *Pattern Recognition Letters, 121*, 37–45.

Dixon, R. A., Kurzman, D., & Friesen, I. (1993). Handwriting performance in younger and older adults: age, familiarity, and practice effects. *Psychology and Aging, 8*(3), 360–370.

El-Yacoubi, M. A., Garcia-Salicetti, S., Kahindo, C., Rigaud, A. S., & Cristancho-Lacroix, V. (2019). From aging to early-stage Alzheimer's: uncovering handwriting multimodal behaviors by semi-supervised learning and sequential representation learning. *Pattern Recognition, 86*, 112–133.

Ellis, A. W. (1988). Normal writing processes and peripheral acquired dysgraphias. *Language and Cognitive process, 3*(2), 99–127.

Ellis, A. W. (1979). Slips of the pen. *Visible Language, 13*, 265.

Engel-Yeger, B., Hus, S., & Rosenblum, S. (2012). Age effects on sensory-processing abilities and their impact on handwriting. *Canadian Journal of Occupational Therapy, 79*(5), 264–274.

Engle, R. W. (2002). Working memory capacity as executive attention. *Current Directions in Psychological Science, 11*(1), 19–23.

Fabiani, M. (2012). It was the best of times, it was the worst of times: A psychophysiologist's view of cognitive aging. *Psychophysiology, 49*(3), 283–304.

Fayol, M. (1999). From on-line management problems to strategies in written production. In M. Torrance & G. Jeffery (Eds.), *Cognitive demands of writing. Processing capacity and working memory effects in text production* (pp. 13–24). Amsterdam University Press.

Ge, J., & Gao, J. H. (2023). A review of functional MRI application for brain research of Chinese language processing. *Magnetic Resonance Letters, 3*(1), 1–13.

Huang, S., Lin, W., Xu, M., Wang, R., & Cai, Z. G. (2021). On the tip of the pen: Effects of character-level lexical variables and handwriter-level individual differences on orthographic retrieval difficulties in Chinese handwriting. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 74*(9), 1497–1511.

He, J., Brehm, L., & Zhang, Q. (2022). Dissociation of writing processes: A functional magnetic resonance imaging study on the neural substrates for the handwritten production of Chinese characters. *Journal of Cognitive Neuroscience, 34*(12), 2320-2340.

Hyatt, R. H., Whitelaw, M. N., Bhat, A., Scott, S., & Maxwell, J. D. (1990). Association of muscle strength with functional status of elderly people. *Age and ageing, 19*(5), 330–336.

Itaguchi, Y., Yamada, C., & Fukuzawa, K. (2019). Writing in the air: Facilitative effects of finger writing in older adults. *PloS ONE, 14*(12).

Kalman, Y. M., Kavé, G., & Umanski, D. (2015). Writing in a digital world: self-correction while typing in younger and older adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 12*(10), 12723–12734.

Katanoda, K., Yoshikawa, K., & Sugishita, M. (2001). A functional MRI study on the neural substrates for writing. *Human Brain Mapping, 13*(1), 34–42.

Lambert, E., & Quémart, P. (2019). Introduction to the special issue on the dynamics of written word production: Methods, models and processing units. *Reading and Writing, 32*(1), 1–12.

LaRiviere, J. E., & Simonson, E. (1965). The effect of age and occupation on speed of writing. *Journal of Gerontology, 20*(4), 4–15.

Lemoine, M. (2020). Defining aging. *Biology & Philosophy, 35*(5), 46.

Lepelley, M. C., Thullier, F., Bolmont, B., & Lestienne, F. G. (2010). Age-related differences in sensorimotor

representation of space in drawing by hand. *Clinical neurophysiology, 121*(11), 1890–1897.

Lin, C. Y., Xiao, Z. W., Shen, L., Zhang, J. X., & Weng, X. C. (2007). Similar brain activation patterns for writing logographic and phonetic symbols in Chinese. *Neuroreport, 18*, 1621–1625.

MacKay, D. G., & Abrams, L. (1998). Age-linked declines in retrieving orthographic knowledge: Empirical, practical, and theoretical implications. *Psychology and Aging, 13*(4), 647–662.

MacKay, D. G., Abrams, L., & Pedroza, M. J. (1999). Aging on the input versus output side: Theoretical implications of age-linked asymmetries between detecting versus retrieving orthographic information. *Psychology and Aging, 14*(1), 3–17.

Meltzer, L. (Ed.). (2018). Executive function in education: From theory to practice. Guilford Publications.

Menon, V., & Desmond, J. E. (2001). Left superior parietal cortex involvement in writing: Integrating fMRI with lesion evidence. *Cognitive Brain Research, 12*, 337–340.

Messa, G. A., Piasecki, M., Rittweger, J., McPhee, J. S., Koltai, E., Radak, Z., ... & Degens, H. (2020). Absence of an aging-related increase in fiber type grouping in athletes and non-athletes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports, 30*(11), 2057–2069.

McCutchen, D. (2000). Knowledge, processing, and working memory: Implications for a theory of writing. *Educational Psychology, 35*, 13–23.

Moetesum, M., Siddiqi, I., Vincent, N., & Cloppet, F. (2019). Assessing visual attributes of handwriting for prediction of neurological disorders—A case study on Parkinson's disease. *Pattern Recognition Letters, 121*, 19-27.

Morgan, M., Bradshaw, J. L., Phillips, J. G., Mattingley, J. B., Iansek, R., & Bradshaw, J. A. (1994). Effects of hand and age upon abductive and adductive movements: A kinematic analysis. *Brain and cognition, 25*(2), 194–206.

Nakamura K, Honda M, Okada T, Hanakawa T, Toma K, Fukuyama H, et al. (2000). Participation of the left posterior inferior temporal cortex in writing and mental recall of kanji orthography: A functional MRI study. *Brain: A Journal of Neurology, 123*(5), 954–967.

Olive, T. (2014). Toward an incremental and cascading model of writing: A review of research on writing processes coordination. *Journal of Writing Research, 6*, 173–194.

Olive, T., & Kellogg, R. T. (2002). Concurrent activation of high-and low-level production processes in written composition. *Memory and Cognition, 30*, 594–600.

Perret, C., Laganaro, M. (2012). Comparison of electrophysiological correlates of writing and speaking: A

topographic ERP analysis. *Brain Topography, 25*, 64–72.

Pickles, B., Compton, A., Cott, C., Simpson, J., Vandervoorth, A. (1995). Physiotherapy with Older People. WB Saunders, London.

Pinet, S., Ziegler, J. C., & Alario, F. X. (2016). Typing is writing: Linguistic properties modulate typing execution. *Psychonomic Bulletin & Review, 23*(6), 1898–1906.

Planton, S., Jucla, M., Roux, F. E., & Démonet, J. F. (2013). The "handwriting brain": a meta-analysis of neuroimaging studies of motor versus orthographic processes. *Cortex, 49*(10), 2772–2787.

Planton, S., Jucla, M., Démonet, J. F., & Soum-Favaro, C. (2019). Effects of orthographic consistency and word length on the dynamics of written production in adults: Psycholinguistic and rTMS experiments. *Reading and Writing, 32*(1), 115–146.

Pohl, P. S., Dunn, W., & Brown, C. (2003). The role of sensory processing in the everyday lives of older adults. *OTJR: Occupation, Participation and Health, 23*(3), 99–106.

Purcell, J. J., Turkeltaub, P. E., Eden, G. F., & Rapp, B. (2011). Examining the central and peripheral processes of written word production through meta-analysis. *Frontiers in psychology, 2*, 239.

Qu, Q., & Damian, M. F. (2020). An electrophysiological analysis of the time course of phonological and orthographic encoding in written word production. *Language, Cognition and Neuroscience, 35*(3), 360–373.

Qu, Q., Damian, M. F., & Li, X. (2015). Phonology contributes to writing: Evidence from a masked priming task. *Language, Cognition and Neuroscience, 31*(2), 251–264.

Qu, Q., Damian, M. F., Zhang, Q., & Zhu, X. (2011). Phonology contributes to writing: Evidence from written word production in a nonalphabetic script. *Psychological Science, 22*(9), 1107–1112.

Qu, Q., Zhang, Q., & Damian, M. F. (2016). Tracking the time course of lexical access in orthographic production: An event-related potential study of word frequency effects in written picture naming. *Brain and language, 159*, 118–126.

Rapp, B., & Dufor, O. (2011). The neurotopography of written word production: An fMRI investigation of the distribution of sensitivity to length and frequency. *Journal of Cognitive Neuroscience, 23*(12), 4067–4081.

Rios-Urrego, C. D., Vásquez-Correa, J. C., Vargas-Bonilla, J. F., Nöth, E., Lopera, F., & Orozco-Arroyave, J. R. (2019). Analysis and evaluation of handwriting in patients with Parkinson's disease using kinematic, geometrical, and non-linear features. *Computer Methods and Programs in Biomedicine, 173*, 43–52.

Roeltgen, D. P., & Heilman, K. M. (1984). Lexical agraphia: Further support for the two-system hypothesis of linguistic agraphia. *Brain, 107*(3), 811–827.

Rønneberg, V., & Torrance, M. (2019). Cognitive predictors of shallow-orthography spelling speed and accuracy in 6th grade children. *Reading and Writing, 32*(1), 197–216.

Rosenblum, S., Engel-Yeger, B., & Fogel, Y. (2013). Age-related changes in executive control and their relationships with activity performance in handwriting. *Human Movement Science, 32*(2), 363–376.

Rosenblum, S., & Werner, P. (2006). Assessing the handwriting process in healthy elderly person using a computerized system. *Aging Clinical and Experimental Research, 18(5)*, 433–439.

Roux, F. E., Dufor, O., Giussani, C., Wamain, Y., Draper, L., Longcamp, M., & Démonet, J. F. (2009). The graphemic/motor frontal area Exner's area revisited. *Annals of neurology, 66*(4), 537–545.

Roux, S., McKeeff, T. J., Grosjacques, G., Afonso, O., & Kandel, S. (2013). The interaction between central and peripheral processes in handwriting production. *Cognition, 127*, 235–241.

Sahel, S., Nottbusch, G., Grimm, A., & Weingarten, R. (2008). Written production of German compounds: Effects of lexical frequency and semantic transparency. *Written Language and Literacy, 11*(2), 211–227.

Sakurai, Y. (2021). Reading and writing impairments as a communication disorder: With special reference to tactile agnosia, agraphesthesia, and kinesthetic reading difficulty. *Japanese Journal of Neuropsychology, 37*(2), 81–87.

Scaltritti, M., Arfé, B., Torrance, M., & Peressotti, F. (2016). Typing pictures: Linguistic processing cascades into finger movements. *Cognition,156*, 16–29.

Schaie, K. W. (2000). The impact of longitudinal studies on understanding development from young adulthood to old age. *International Journal of Behavioral Development, 24*(3), 257–266.

Segal, E., & Petrides, M. (2012). The anterior superior parietal lobule and its interactions with language and motor areas during writing. *The European Journal of Neuroscience, 35*(2), 309–322.

Shafto, M. A., & Tyler, L. K. (2014). Language in the aging brain: The network dynamics of cognitive decline and preservation. *Science, 346*, 583–587.

Shimoyama, I., Ninchoji, T., & Uemura, K. (1990). The finger-tapping test: a quantitative analysis. *Archives of neurology, 47*(6), 681–684.

Smith, C. D., Umberger, G. H., Manning, E. L., Slevin, J. T., Wekstein, D. R., Schmitt, F. A., ... & Gash, D. M. (1999). Critical decline in fine motor hand movements in human aging. *Neurology, 53*(7), 1458–1458.

Smith, K. U., & Green, D. (1962). Scientific motion study and aging processes in performance. *Ergonomics, 5*(1), 155–164.

Sugihara, G., Kaminaga, T., & Sugishita, M. (2006). Interindividual uniformity and variety of the “Writing center”:

A functional MRI study. *NeuroImage, 32*(4), 1837–1849.

Thorndike, E. L., Bregman, E.Q,Tilton, J. W, &Woodyard, E. (1928). Adult learning. New York: Macmillan.

Tseng, M. H., & Cermak, S. A. (1993). The influence of ergonomic factors and perceptual–motor abilities on handwriting performance. *The American journal of occupational Therapy, 47*(10), 919–926.

Uysal, S. A., & Aki, E. (2012). Relationship between writing skills and visual-motor control in low-vision students. *Perceptual and Motor Skills*, *115*(1), 111–119.

van Galen, G. P. (1991). Handwriting: Issues for a psychomotor theory. *Human Movement Science, 10*(2-3), 165–191.

Walton, J. (1997). Handwriting changes due to aging and Parkinson's syndrome. *Forensic science international, 88*(3), 197–214.

Wang, J., Cheng, L., Maurer, U., & Chen, H. C. (2023). Role of radical position and character configuration in Chinese handwritten production. *Reading and Writing, 36*(7), 1609–1630.

Willett, F. R., Avansino, D. T., Hochberg, L. R., Henderson, J. M., & Shenoy, K. V. (2021). High-performance brain-to-text communication via handwriting. *Nature, 593*(7858), 249–254.

Yang, Y., Zuo, Z., Tam, F., Graham, S. J., Tao, R., Wang, N., et al. (2019). Brain activation and functional connectivity during Chinese writing: An fMRI study. *Journal of Neurolinguistics, 51*, 199–211.

Yoon, J. H., Kim, H., Kim, J., Park, E., & Kim, S. R. (2014). Size variability of handwriting in healthy Korean older adults. *Geriatrics & Gerontology International, 14*(2), 458–463.

Zhang, Q., & Damian, M. F. (2010). Impact of phonology on the generation of handwritten responses: Evidence from picture-word interference tasks. *Memory & cognition, 38*(4), 519–528.

Zhang, Q., & Feng, C. (2017). The interaction between central and peripheral processing in Chinese handwritten production: Evidence from the effect of lexicality and radical complexity. *Frontiers in Psychology, 8*, 334.

Zhang, Q., & Wang, C. (2015). Phonology is not accessed earlier than orthography in Chinese written production: Evidence for the orthography autonomy hypothesis. *Frontiers in psychology, 6*, 448.

Zhang, Q., & Wang, C. (2016). The temporal courses of phonological and orthographic encoding in handwritten production in Chinese: An ERP Study. *Frontiers in Human Neuroscience, 10*, 417.

The cognitive mechanism and neural basis of written production in aging

LIU Yueyue[1], HE Wenguang[2]
([1] *School of Education, Qufu Normal University, Qufu* 273165, *China*)
([2] *School of Psychology, Qufu Normal University, Qufu* 273165, *China*)

Abstract: Writing is a complex perceptual-motor process that involves both central cognitive coding and peripheral motor execution. It requires a lot of cognitive resources and is therefore susceptible to physiological aging. Research based on written products has found that older adults always show variations in font size, stroke inversions, reduced smoothness, and increased error rates. Studies on the writing process have revealed that older adults tend to show slower responses, increased pauses, prolonged execution, decreased speed, and uneven pen pressure. Cognitive aging in writing primarily stems from neurodegeneration of the brain, decline of sensory-motor mechanisms, and interference from hormonal changes or bone loss to hand movements. Future research should focus on the synchrony and asynchrony of aging in different writing processes, as well as the universality and specificity of cognitive aging in writing. Meanwhile, research should also be conducted to develop and apply clinical diagnostic criteria for cognitive aging in writing.

Keywords: writing, writing cognitive, cognitive aging, neural mechanism